

Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Hydrometeranalyse

Nielsen, Benjaminn Nordahl; Nielsen, Søren Dam

Publication date:
2019

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Nielsen, B. N., & Nielsen, S. D. (2019). *Hydrometeranalyse*. Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. DCE Lecture notes Nr. 49

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG
AALBORG UNIVERSITET

Hydrometeranalyse

Benjaminn Nordahl Nielsen
Søren Dam Nielsen

Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for byggeri og infrastruktur

DCE Lecture Notes No. 49

Hydrometeranalyse

Benjaminn Nordahl Nielsen
Søren Dam Nielsen

2019

© Aalborg Universitet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2019 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23
DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-7286
DCE Lecture Notes No. 49

Udgivelser i DCE Lecture Note serien

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Glødetab, DCE Lecture note no. 48, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Konsistensgrænser, DCE Lecture note no. 50, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Kornvægtfylde, DCE Lecture note no. 51, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Løs og fast lejring, DCE Lecture note no. 52, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Rumvægt, DCE Lecture note no. 53, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Sigteanalyse, DCE Lecture note no. 54, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Vandindhold, DCE Lecture note no. 55, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Forord

Denne vejledning omhandler bestemmelse af den vægtmæssige fordeling af jordkorn i siltfraktionen.

Vejledningen er en del af en serie, der beskriver udførelsen af geotekniske klassifikationsforsøg som de foretages i laboratoriet for fundering ved Aalborg Universitet.

Vejledningen er opbygget på følgende måde:

- *Tilhørende standarder*
- *Definitioner*
- *Apparatur*
- *Kalibrering af udstyr*
- *Klargøring af prøvemateriale*
- *Forsøgsprocedure*
- *Beregninger*
- *Rapportering*
- *Bemærkninger*
- *Skema til brug for forsøgsudførelse*
- *Evt. bilag*

Det må anbefales brugeren af denne vejledning at læse hele vejledningen igennem inden forsøget påbegyndes.

Nummerering på figurer er i teksten angivet med { }.

Enheder er angivet med [], f.eks. [%].



Tilhørende standard

Forsøget er baseret på og yderligt beskrevet i standarden DS/CEN ISO/TS 17892-4.

Definition

En hydrometeranalyse udføres for at bestemme jordkornenes vægtmæssige fordeling efter størrelser i siltfraktionen (2μ - 60μ).

Kornstørrelsen er defineret som diameteren af den kugle, der med samme densitet og i samme væske har samme faldhastighed som partiklen.

Analysen bygger på Stoke's lov for kugler, idet den pågældende jordprøve slæmmes op i en væske.

Ligning 1: Stoke's lov.

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_w)}{\mu}$$

v_s Kuglens hastighed [m/s]

d Kuglens diameter [m]

g Tyngdeacceleration [m/sek^2]

ρ_p Partiklens densitet [kg/m^3]

ρ_w Vands densitet [kg/m^3]

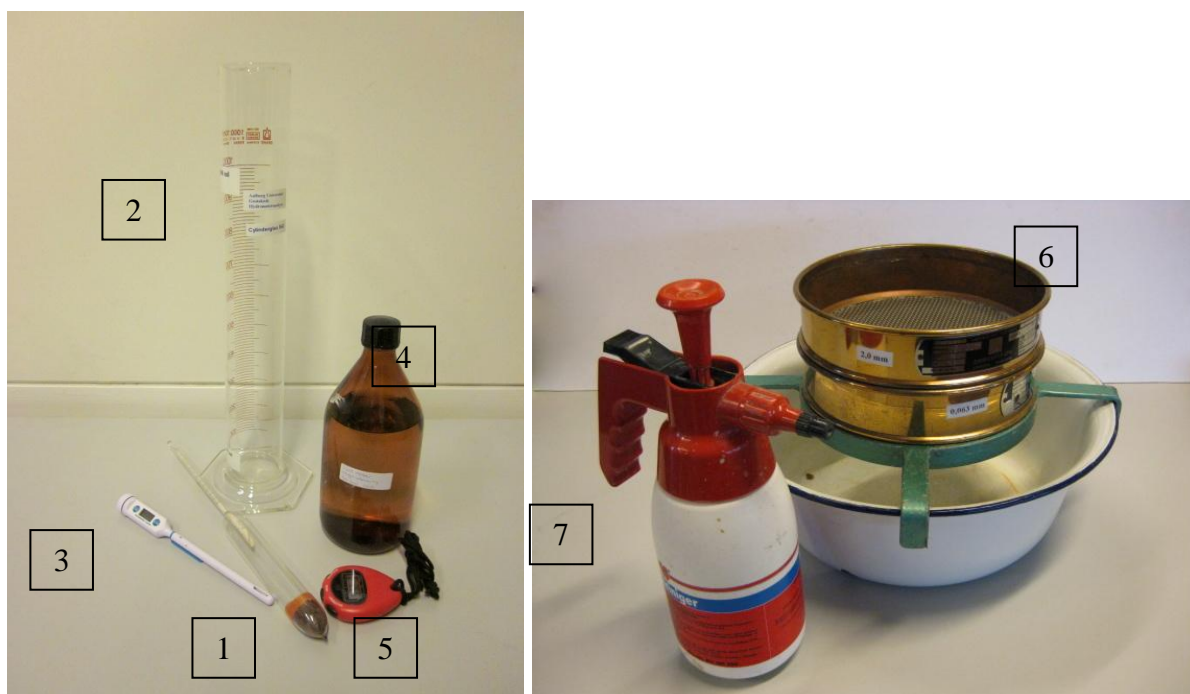
μ Væskens viskositet [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$]

Ved hjælp af Stoke's lov kan man således bestemme kuglediameteren, hvis man kender faldhastigheden v_s .

Apparatur

Apparatur til brug ved hydrometerforsøg. Numrene henviser til figur 1.

- Hydrometer {1}
- 1000 ml cylinderglas {2}
- Termometer, nøjagtighed 0,5°C {3}
- Peptisatorvæske {4}
- Stopur {5}
- Rystebord
- Temperaturreguleret rum
- Sigter 2 og 0,063 mm {6}
- Tryksprayer {7}



Figur 1: Apparatur til brug ved hydrometerforsøg. Numrene henviser til numrene i listen herover.

Kalibrering af udstyr

Hydrometrene skal kalibreres årligt. Der skal ikke kalibreres udstyr umildbart inden forsøget.

Klargøring af prøvemateriale

Peptisatorvæske

Når jorden slæmmes op, tilsættes en peptisator for at ændre jordpartiklernes elektrokemiske forhold, og derved forhindre at partiklerne klumper sig sammen.

Den gunstigste peptisator og peptisatorkoncentration for en given jordart bestemmes som den peptisator, ved hvilken sedimentationen skrider langsomst frem.

Virksomme peptisatorer er natriumpyrofosfat, natriumtripolyfosfat og natriumhexametafosfat. Natriumhexametafosfat er særlig benyttet som peptisator til stærkt kalkholdig jord. Til rutineanalyser anvendes en 0,05 molær natriumpyrofosfatopløsning, som fremstilles ved at opløse 22,3 g $Na_4P_2O_7$, $10H_2O$ i destilleret vand og fylde op til 1 liter.

Prøvemateriale

Vandindholdet, w , måles på en repræsentativ del af prøven.

Til hydrometeranalysen af prøven bruges materialemængder som angivet i tabel 1. Mængderne er vejledende, og den benyttede mængde, W , noteres.

Tabel 1: Prøvemængder afhængig af prøvemateriale.

Jordtype	Mængde
Jord indeholdende sand	Op til 75 g
Kohæsionsjord med lidt sand	30 til 50 g
Plastisk til meget plastisk jord	10 til 30 g

Det afmålte prøvematerialet, W , placeres i en vandtæt beholder, og der tilsættes 100 ml peptisatorvæske. Beholderen lukkes grundigt, tape eventuelt kanten til, og placeres på rystebordet ved 170 RPM. Opslæmningen rystes grundigt til alt jorden er opslæmmet, ca. 4 timer, figur 2. Ved meget plastisk jord kan det være nødvendigt at lade opslæmningen stå på rystebordet natten over.



Figur 2: Opslæmningen på rystebordet. Hastigheden på rystebordet skal sættes til 170 RPM.

Opslæmningen udvaskes på en 2 mm sigte, hvorunder der er en 0,063 mm sigte, som er placeret over et fad.

- Opslæmningen på 2 mm sigten spules med demineraliseret vand til vandet der løber ned på 0,063 mm sigten er helt klart. Der kan evt. røres let med en pensel eller spartel.
- Den del af opslæmningen der nu ligger på 0,063 mm sigten udvaskes, figur 3, til vandet der løber derfra er helt klart.
 - Der må ikke trykkes på 0,063 mm sigten, er der behov for at rører i materialet kan dette gøres let med en blød pensel.
 - Vip evt. sigten fra side til side. Vær dog opmærksom at opsamle alt gennemfaldet.
- Materiale opsamlet på 2 og 0,063 mm sigterne samles og tørres ved 50°C.
- Materiale vejes, W_{rest} , og der udføres en finsigtning.
 - Gennemfaldet materiale fra 0,063 mm sigten afvejes, $W_{0,063}$, og tilføres det udvasket materiale.



Figur 3: Udvaskning af silt på en 0,063 mm sigte.

Opslæmningen regnes udvasket når vandet der løber fra sigten er klart. Der benyttes maksimalt 800 ml demineraliseret vand til at udvaske opslæmningen. Er det nødvendigt at bruge mere end 800 ml demineraliseret vand for at sikre en tilstrækkelig udvaskning, og det samlede volumen af det opsamlede fra gennemløbning af 0,063 mm sigten og dermed overskrider 1000 ml, skal det overskydende vand fjernes ved fordampning. Der må ikke manuelt fjernes vand fra opsamlingsbaljen, da man derved risikere at fjerne partikler fra opslæmningen.

- Gennemfaldet fra 0,063 mm sigten hældes i et cylinderglas, vær opmærksom på at få alt materialet med, figur 4.
 - Det kan være nødvendigt at bruge tryksprayeren til at få det sidste af opslæmningen i cylinderglasset. Vær opmærksom på ikke at overskride en volumen på 1000 ml.
- Cylinderglasset henstilles i ca. 12 timer ved konstant temperatur. Benyt gerne et rum med mekanisk temperaturkontrol.
- Et referencecylinderglas med 100 ml peptisatorvæske og 900 ml demineraliseret vand placeres samme sted som cylinderglasset med opslæmningen, således de to væsker får samme temperatur.
 - Ligeledes stilles der et cylinderglas med rent demineraliseret vand til skylning af hydrometeret.
- Alle cylinderglas dækkes med film eller prop for at forhindre opsamling af støv og fordampning af væske, figur 5.



Figur 4: Opslæmningen hældes på cylinderglas, tryksprayeren kan bruges til at få det sidste af opslæmningen i cylinderglasset.



Figur 5: Cylinderglas i klimarum. Hver cylinders åbning er dækket af en prop. Cylinderne er fyldt med (fra venstre): Opslæmning, demineraliseret vand og referencevæske.

Forsøgsprocedure

Til bestemmelse af vægtmæssigt indhold af tørstof i opslæmningen benyttes et hydrometer (en flydevægt) med skala på stilken, der angiver antal gram jord pr. liter opslæmning. Til en bestemt aflæsning på hydrometret kan på forhånd udregnes faldhøjden h med hensyn til tyngdepunktet af fortrængt væskevolumen.

Idet hydrometeraflæsningen R'_h foretages efter et kendt tidsinterval, kan faldhastigheden, v_s , findes, og kuglediameteren, d , kan udregnes.

Hydrometeraflæsningen angiver således antal gram jord pr. liter opslæmning, der har korndiameter mindre end den udregnede kuglediameter.

Hydrometerforsøg

Inden forsøgets start anbringes hydrometret i referencecylinderglasset.

- Der anbringes prop i måleglasset.
- Opslæmningen rystes kraftigt til opslæmningen er hvirvlet helt op, figur 6.
 - Det er vigtigt, at sikre sig at der ikke er noget bundfald i cylinderglasset.



Figur 6: Cylinderglasset med opslæmningen rystes inden forsøget påbegyndes.

- Cylinderglasset anbringes på et fast bord, og stopuret startes straks.
- Umiddelbart efter start af stopuret sænkes hydrometret forsigtigt ned i opslæmningen til flydedybde, figur 7.
 - Opslæmningen skal forstyrres mindst muligt når hydrometeret nedsænkes heri.
 - Flydedybde kan mærkes, da det er her hydrometeret er i ligevægt i vandet. Hvis hydrometeret slippes for langt fra flydedybde vil det vugge længe i opslæmningen inden der finder dets ligevægt.

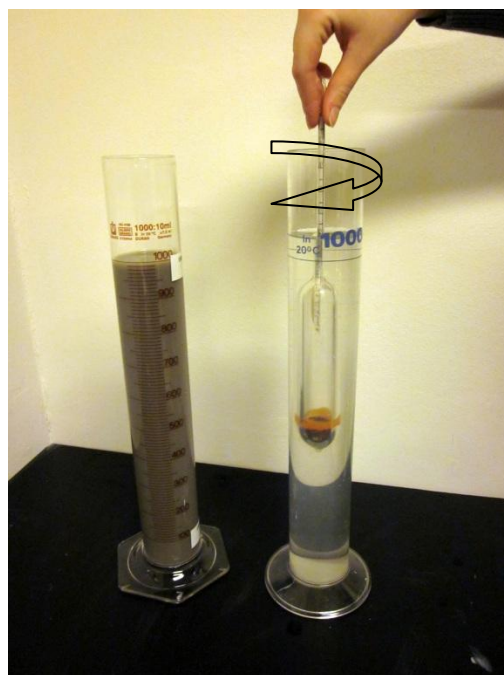


Figur 7: Hydrometret sænkes forsigtigt ned i opslæmningen til flydedybde.

- Der tages hydrometeraflæsninger, R'_h , til tiderne 15 sek., 30 sek., 1 min og 2 min. uden at fjerne hydrometret fra opslæmningen, figur 8. Disse fire aflæsninger kan gentages, indtil der opnås et følgerigtigt sæt af aflæsninger, idet opslæmningen genrystes, og forsøgets start gentages som netop beskrevet.
 - Hydrometeraflæsninger, R'_h , tages på oversiden af menisken, da opslæmningens ugenomsigtighed gør det umuligt at aflæse på undersiden af menisken.
- Når aflæsningen efter 2 min. er foretaget, fjernes hydrometret forsigtigt, og temperaturen måles.
- Hydrometret skylles i et cylinderglas med demineraliseret vand ved at sænke det stille i glasset med en drejende bevægelse, figur 9. Hydrometret aftørres efter hver skylning.
- Hydrometret placeres forsigtigt i referencecylinderglasset, og en referencemåling tages i dette R_0 .
- Over- og undersiden af menisken måles, og størrelsen på menisken findes.
- Opslæmningen genrystes, hvorefter første aflæsning tages ved 2 min.
- Der foretages yderlige hydrometer- og temperaturlæsninger efter 4, 8, 30, 60, 120, 480 min og 24 timer. Imellem hver måling fjernes hydrometret forsigtigt og skylles i cylinderglasset med demineraliseret vand.



Figur 8: Hydrometeraflæsningen foretages på inddelingen på hydrometers stilk. Aflæsningen foretages på oversiden af menisken.



Figur 9: Efter hver aflæsning skylles hydrometret i demineraliseret vand. Hydrometret sænkes med en drejende bevægelse for at slynge evt. jordpartikler af.

Inden hydrometret anbringes i opslæmningen, tørres dette grundigt, således der ikke sidder vand derpå.

Umiddelbart inden hver aflæsning sænkes hydrometret forsigtigt ned i opslæmningen til flydedybde, således der ikke skabes turbulens. Hydrometret sænkes således det netop når at stabilisere sig i opslæmningen inden aflæsningen.

Temperaturen i opslæmningen aflæses efter hver hydrometeraflæsning, afviger temperaturen mere end 1°C fra temperaturen ved referencemålingen skal en ny måling i referencecylinderglasset foretages.

Beregninger

Beregning af prøvestørrelse

Vægten af tørstof i opslæmningen med en diameter mindre end 0,063 mm udregnes ved hjælp af kendskab til vandindholdet, w .

$$W_s = \frac{W}{1 + \frac{w}{100}} - W_{rest} + W_{0,063}$$

Korrektion af hydrometeraflæsninger R'_h

Hydrometeraflæsningen R'_h skal korregeres for menisken samt for nulpunktsfejl, peptisator og temperatur. Først korrigeres for menisken ved at addere størrelsen af menisken til hydrometeraflæsningen.

$$R_h = R'_h + \text{meniske}$$

Efterfølgende korrigeres for nulpunktsfejl, peptisator og temperatur, dette gøres ved hjælp af referencemålingen, R_0 , som subtraheres fra R_h .

$$R_d = R_h - R_0$$

Desuden skal der korrigeres for den relative densitet, d_s . Dette gøres ved at multiplicerer den korrigerede hydrometeraflæsning med en faktor fundet ved:

$$k_{ds} = \frac{1,65}{2,65} \cdot \frac{d_s}{d_s - 1}$$

Er der ved udvaskningen et stort tilbagehold af materiale, skal d_s findes på den udvaskede del.

$$Y = R_d \cdot k_{ds}$$

Den korrigerede hydrometeraflæsning Y angiver antal gram jord pr. liter opslæmning, der har korndiameter mindre end kuglediameteren d .

Denne korrektionsfaktor afhænger desuden af, om hydrometret er kalibreret i en opslæmning i destilleret vand eller i en opslæmning i en 0,005 molær $Na_4P_2O_7$ -opløsning, men afvigelsen er uden betydning.

Beregning af vægtprocent

Den opslæmmede jords indhold af kornstørrelser mindre end d udregnes i procent af hele den opslæmmede jords tørvægt.

$$P = \frac{Y}{W_s} \cdot 100\%$$

Den oprindelige jordprøves vægtprocentiske indhold af kornstørrelser mindre end d er lig med

$$\frac{E}{100} \cdot P[\%],$$

hvor E er gennemfaldet på 0,063 mm sigten i procent af den oprindelige jordprøves tørvægt A , se eventuel manual for sigteanalyse.

$$E = \frac{\frac{W_s}{W}}{1 + \frac{w}{100}}$$

Beregning af kornstørrelse d

Korndiameteren, d , kan findes ved en omskrivning af Stoke's lov, ligning 1. Ved omskrivningen indføres blandt andet brugen af den relative densitet i stedet for den faktiske densitet. Omskrivningen bliver til:

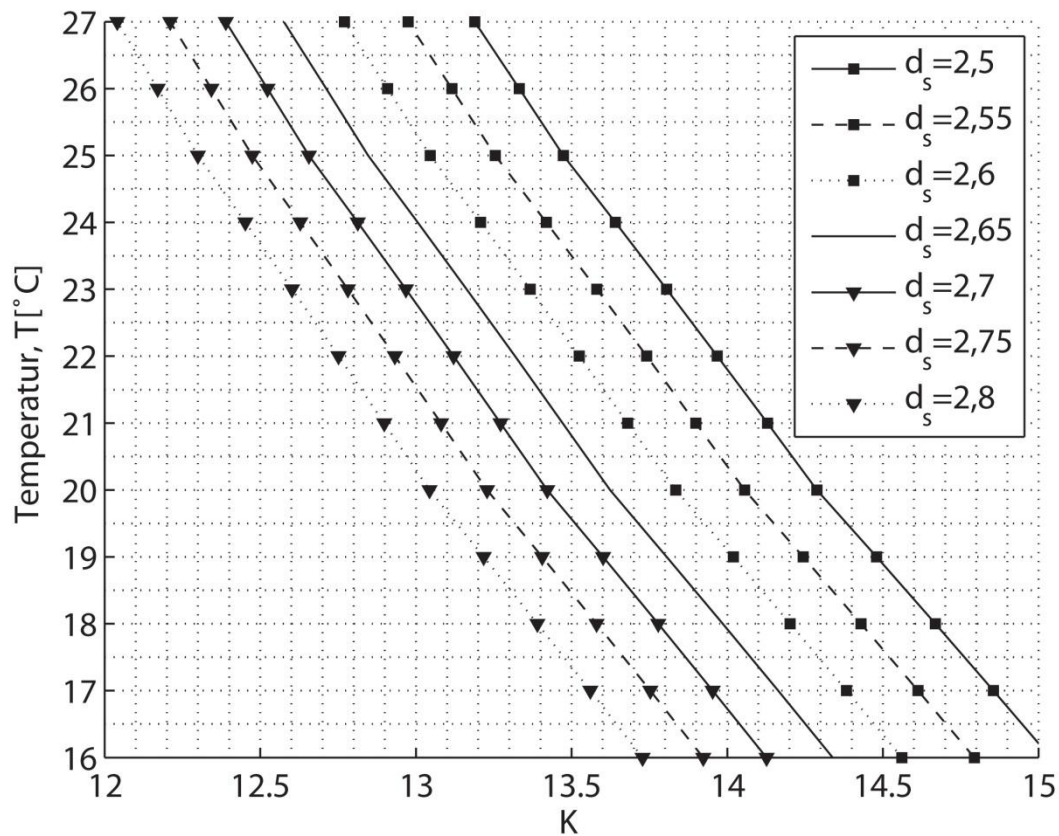
$$d = \sqrt{\frac{18\eta \cdot 100}{(d_s - d_0)g \cdot 60}} \cdot \sqrt{\frac{h}{t}}$$

Idet ændring i peptisator og peptisatorkoncentration kun har uvæsentlig indflydelse på η og d_0 , kan Stoke's lov forenkles til

$$d = K \cdot \sqrt{\frac{h}{t}}$$

hvor K varierer med d_s og temperatur T .

K afhængig af d_s og T kan aflæses på laboratorieskema for hydrometeranalyse, figur 10.



Figur 10: K-faktor afhængig af temperatur og den relative densitet.

Faldhøjden h til enhver tid kan endvidere aflæses som funktion af hydrometeraflæsning R_h korrigerede for menisken. Korrektur af menisken gøres ved at addere størrelsen af menisken målt i referencemålingen til den pågældende hydrometeraflæsning R'_h . Dette gøres inden faldhøjden aflæses i faldhøjdeskemaet. Det nyeste faldhøjdeskema kan findes i laboratoriet for fundering ved Aalborg Universitet.

Korndiameteren er derved givet ved:

$$d(mm) = K \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{h(cm)}{t(min)}}$$

Rapportering

Samhørende værdier af vægtprocenter og kornstørrelser afsættes i samme koordinatsystem som sigtekurven i fortsættelse af denne. Den optegnede kurvedel betegnes som slæmmekurven.

Bemærkninger

De angivne faldtider er kun vejledende, der kan således tages måling til andre tider, blot disse noteres.

Måleglasset må ikke udsættes for rystelser under forsøget.

Rummets lufttemperatur skal så vidt muligt være konstant. Det er vigtigt at forhindre vandrette temperaturgradienter (sol, varmeapparat eller åbent vindue), som kan fremkalde konvektionsstrømninger.

Oversiden af måleglasset med opslæmningen bør til ethvert ubenyttet tidspunkt tildækkes for at undgå fordampning og aflejring af støv.

En ujævn overgang mellem sigtekurve og slæmmekurve kan skyldes, at sigtedugen på sigte 0,063 mm er defekt eller at udvaskningen har været ufuldstændig.

Sag		Sag nr.
Undersøgt d.	til	Lab. nr.
Kontr. d.	Godk. d.	Boring nr.
		Bilag nr.

VANDINDHOLD, hele prøven

Prøve	nr	
Skål	nr	
Skål ind tørreskab	d. kl	
Skål ud tørreskab	d. kl	
Sk	g	
Sk + W	g	
Sk + W_s	g	
W_w ($W - W_s$)	g	
W_s	g	
$w = \frac{W_w}{W_s}$		

HYDROMETER

Hydrometer	nr	
Cylinderglas	nr	
d_s	-	
Sigtestørrelse, udvask	mm	
Meniske overside	-	
Meniske underside	-	
E i % af A	%	
Peptisator	-	

VASKEREST TIL SIGTNING

Prøve	nr	
Skål	nr	
Sk	g	
Sk + W_{rest}	g	
W_{rest}	g	
$W_{0,063}$	g	

PRØVESTØRRELSER

Prøve	nr.	
Skål	nr.	
Sk	g	
$Sk + W$	g	
W	g	
W_s	g	

Sag				Sag nr.
Undersøgt d.	til	Lab. nr.	Boring nr.	
Kontr. d.	Godk. d.	Kote	Bilag nr.	

HYDROMETERAFLÆSNINGER

Falddid m	0,25	0,5	1	2	Temp.	Temp. (ref)	R ₀
Hydro.afl. 1							
Hydro.afl. 2							
Hydro.afl. 3							
Hydro.afl. 4							

Falddid m	2	4	8	30	90	240	480	1440
Aflæsningstidspunkt								
Hydro.afl. (R'_h) g/l								
Temp. °C								
Korr. Hydro for menisken (R_h) g/l								
Korr.fak. for temp. og pep. (R_0) g/l								
Korr. Hydro. (R_d) g/l								
Korr. d _s (k_{ds}) -								
Hydro. korr. (Y) g/l								
Gennemfald (P) %								
Gennemfald af A %								
Faldhøjde (h) cm								
Koefficient (K) -								
Kornstørrelse (d) $K \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{h(cm)}{t(min)}} \text{ mm}$								

